

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP2004/000170

14. 1. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 1月15日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-007485
[ST. 10/C]: [JP2003-007485]

REC'D 27 FEB 2004

WIPO

PCT

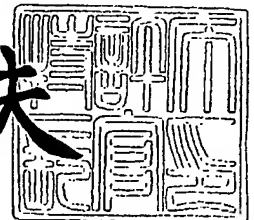
出 願 人
Applicant(s): 株式会社デバイス・ナノテク・リサーチ・インスティテュー
ト

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2004-3008975

【書類名】 特許願

【整理番号】 D0001

【提出日】 平成15年 1月15日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/10
G02B 1/12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町一丁目 2 番 1 号 株式会社バイオ
・ナノテック・リサーチ・インスティテュート内

【氏名】 小川 憲介

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋浜町 3 丁目 4 2 番 3 号 株式会社ア
イ・エヌ・アール・アイ内

【氏名】 藤井 充

【特許出願人】

【識別番号】 502449716

【氏名又は名称】 株式会社アイ・エヌ・アール・アイ

【代理人】

【識別番号】 100100077

【弁理士】

【氏名又は名称】 大場 充

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 085823

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 分散補償素子、光学結晶、分散補償システム、分散補償方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部から入射される光パルスの波長分散を補償する分散補償素子であって、

入射端から出射端まで光パルスを導く導波路と、

前記導波路において前記光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を可変とする分散変動手段と、

を備えることを特徴とする分散補償素子。

【請求項 2】 誘電率の異なる二つの物質を、前記導波路が連続する方向において交互に周期的に配列することで形成され、一方の前記物質中に存在する他方の前記物質のサイズと間隔の組み合わせが異なる複数の領域が、前記導波路が連続する方向に沿って配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の分散補償素子。

【請求項 3】 複数の前記領域は、前記光パルスに対する波長分散の符号が互いに異なることを特徴とする請求項 2 に記載の分散補償素子。

【請求項 4】 複数の前記領域は、前記光パルスに対する波長分散の次数が互いに異なることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の分散補償素子。

【請求項 5】 前記分散補償素子は、 n 次までの波長分散を補償し、前記領域が $2(n-1)$ 個設けられていることを特徴とする請求項 4 に記載の分散補償素子。

【請求項 6】 複数の前記領域は、互いに前後する前記領域の境界部における、前記光パルスの反射が最小となる配列で設けられていることを特徴とする請求項 2 から 5 のいずれかに記載の分散補償素子。

【請求項 7】 前記分散変動手段として、前記導波路の前記領域ごとに、当該導波路の屈折率を変化させるエネルギーを外部から独立して付与するためのエネルギー付与部材を備えることを特徴とする請求項 2 から 6 のいずれかに記載の分散補償素子。

【請求項 8】 誘電率の異なる二つの物質を交互に周期的に配列することで形成された周期配列層を含み、

前記周期配列層は、一方の前記物質中に周期的に配列される他方の前記物質が連続して欠落した連続欠落部が形成されるとともに、

前記連続欠落部が連続する方向において、一方の前記物質中における他方の前記物質の周期配列特性が異なる複数の領域が形成されていることを特徴とする光学結晶。

【請求項 9】 前記周期配列層にて、複数の前記領域は、前記連続欠落部を光パルスが通過するとき、当該光パルスに与える波長分散の絶対値または符号が互いに異なることを特徴とする請求項 8 に記載の光学結晶。

【請求項 10】 前記周期配列層に、当該周期配列層を形成する前記一方の物質とは屈折率が異なる物質で形成された他の層が積層されていることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の光学結晶。

【請求項 11】 前記周期配列層にて、前記連続欠落部は二次元状に形成されていることを特徴とする請求項 8 から 10 のいずれかに記載の光学結晶。

【請求項 12】 前記連続欠落部が、前記周期配列層の一端側から他端側に向けて直線状に形成されていることを特徴とする請求項 8 から 11 のいずれかに記載の光学結晶。

【請求項 13】 光パルス伝送路を介して伝播する光パルスの分散補償システムであって、

前記光パルス伝送路上に設けられ、当該光パルス伝送路を介して伝播される前記光パルスを取り出す光パルス取り出し部と、

前記光パルス伝送路上に設けられ、当該光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに対し、波長分散を与える分散補償部と、

前記光パルス取り出し部で取り出された前記光パルスに基づき、前記分散補償部で前記光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を制御する制御部と、を備えることを特徴とする分散補償システム。

【請求項 14】 前記分散補償部は、前記光パルス伝送路から入射した前記光パルスに対して与える波長分散が互いに異なる複数の領域を備えた導波路と、

前記導波路の前記領域ごとに、当該導波路の屈折率を変化させるエネルギーを外部から独立して付与するためのエネルギー付与部と、を備え、

前記制御部は、前記エネルギー付与部で付与するエネルギーの量を制御することで、前記分散補償部で前記光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を制御することを特徴とする請求項 1 3 に記載の分散補償システム。

【請求項 1 5】 前記光パルス取り出し部で取り出された前記光パルスの特性と、前記エネルギー付与部で付与するエネルギーの量とを関連付けたデータを格納するデータ格納部をさらに備え、

前記制御部は、前記光パルス取り出し部で取り出された前記光パルスに基づき、前記データ格納部を参照して得た前記エネルギーの量のデータにより、前記分散補償部で前記光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を制御することを特徴とする請求項 1 4 に記載の分散補償システム。

【請求項 1 6】 光パルス伝送路を介して伝播される光パルスを取り出すステップと、

取り出された前記光パルスに基づき、前記光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を決定するステップと、

決定された前記波長分散の絶対値と符号に基づき、前記光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに与える波長分散を変動させるステップと、
を有することを特徴とする分散補償方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光パルス伝送の際に生じる波長分散を補償する分散補償素子、分散補償システム等に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、データ通信は光ファイバを介したものに移行しつつあり、これに伴い、データの伝送速度も従来より飛躍的に高まっている。

近い将来、このような光ファイバを介したデータ通信において、超短光パル

スを用い、現時点での伝送速度より遥かに高速な 160 Gbit/s もしくはそれ以上の伝送速度で通信を行うことが検討されている。

【0003】

ところで、データ通信を行う場合、常にクロストークや伝送エラーという問題がついて回るが、データの伝送速度が高まると、自ずと個々の光パルスの幅と、互いに前後する光パルスの間隔が狭まってくるため、この問題は非常に重要な問題となる。

光が物質中を進行する速度は、物質の屈折率で決まり、屈折率が大きいほど光速度は遅くなる。ガラス、半導体、光学結晶等の物質では、屈折率は光の周波数(空気中の波長)によって変化するため、光速度は波長に依存することになる。この、屈折率の波長依存性により、光パルスが物質中を進行する間に光パルスの波形を歪ませ、パルスの時間幅が広がる要因となることが知られている。このように、光の波長に応じて光速度が異なる、という特性を、以下、波長分散、あるいは単に分散と称する。

【0004】

上記のようにして、光ファイバ中を進行する間に、光パルスの波形が歪んだり、光パルスの時間幅が広がるわけであるが、従来の伝送速度では光パルスの時間幅も大きいため、特に大きな問題とはならない。しかし、データの伝送速度が高まると、前後の光パルスどうしが干渉するなどして、クロストークや伝送エラーが生じてしまう。このため、現状の技術のままで単に伝送速度を高めようとしたのでは、より高速度でのデータ通信は実現できないのである。

【0005】

このような問題に対し、例えばフォトニック結晶を用い、波長分散を補償するという試みが既に行われている。

フォトニック結晶は、屈折率が異なる二つの物質を周期的に配列した構造を有しており、この配列の一部を欠陥させて欠陥導波路(連続欠落部)を形成することで、特定の周波数の光のみが通過し、この光に対して特定の波長分散を与える導波モードが発生する。この導波モードを利用することで、光ファイバ伝送路の波長分散を補償するのである(例えば、非特許文献1参照。)

【0006】

【非特許文献1】

細見和彦、勝山俊夫、「フォトニック結晶結合欠陥導波路の光伝搬特性(2)」、「第63回応用物理学会学術講演会講演予稿集第3分冊」、社団法人応用物理学会、平成14年(2002年)9月24日、p. 917

【0007】

この他、フォトニック結晶と類似する構造として、光ファイバ回折格子を分散補償素子として利用する技術が実施されている。回折格子の周期を光ファイバの長手方向に沿って変化させたチャープ光ファイバ回折格子を用い、広いスペクトル帯域での波長分散を補償するという試みである(例えば、非特許文献2参照。)

【0008】

【非特許文献2】

鈴木明、若林信一、「短パルスの分散補償技術」、「オプトロニクス」、株式会社オプトロニクス、平成14年(2002年)、21巻、4号、p. 161-165

【0009】

また、理化学用の超短パルスレーザーが発生する光パルスを対象とした分散補償について、プリズム対や回折格子対を用いた技術が普及している。これらは、主として正の波長分散を補償するものである(例えば、非特許文献3参照。)

【0010】

【非特許文献3】

J-C Diels, W Rudolph, "Ultrashort Laser Pulse Phenomena"、米国、Academic Press、1996年、p. 43-99

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記したような従来の波長分散補償技術を単純に用いたのでは、伝送速度のさらなる高速化には十分に対応しきれないという問題がある。

すなわち、波長分散は、前述したように光パルスの位相の波長(もしくは周波

数、以下、単に波長と称する)依存性に起因するものである。一般に、光波の位相は、ある波長を中心として、波長の次数(べき指数)の異なる項によって展開された多項式として表される。2次の項の係数が最低次の波長分散に対応し、それに続く次数項の係数として、3次、4次、5次と続くことが知られている(例えば、非特許文献4参照。)

【0012】

【非特許文献4】

小川憲介、「超短光パルス測定」、「超高速光エレクトロニクス技術ハンドブック」、サイベック株式会社、平成15年(2003年)1月31日、第2章 2.4

【0013】

現状の光パルスの伝送速度では、2次の項に対して波長分散を補償すれば十分であったが、伝送速度が高まるにつれて、データ送信に使用する光パルスの時間幅はより短くなり、それに反比例して光パルスのスペクトル幅は増加する。したがって、伝送速度が上昇するほど、広いスペクトル帯域にわたり、より高次までの波長分散係数を補償しなければ、光パルスの波形の歪を除去することはできない。

ところが、フォトニック結晶あるいは光ファイバ回折格子を用いた従来の波長分散補償技術では、2次、3次、4次等、個々の次数に対し、波長分散を補償することができるものの、複数の次数に対し、波長分散を補償することはできなかった。これでは広いスペクトル帯域を利用する超高速大容量光通信に対応する波長分散補償は実現できない。

【0014】

ところで、超高速大容量の光ファイバ伝送路は、それ自体で光パルスの伝送特性が最適となるように設計される。すなわち、伝送路全体として波長分散がゼロとなるように構成される。

しかし、例えば海底等に敷設される光ファイバ伝送路は、温度・気圧・振動等の影響により、光ファイバ伝送路が最適化された条件から外れることがある。そのような状況では、光ファイバ伝送路における波長分散は、正負の間を絶え間な

く変化する。

これに対し、従来の技術では波長分散が正負に変化する場合において、波長分散補償の符号を波長分散の絶対値と独立に可変することは困難であった。このことは、波長分散値がゼロの付近で正負の間を絶え間なく変化するような状況に対応することが困難であることを意味する。

なお、「正」の波長分散とは、波長が長くなるほど光速度が増すことを指し、「負」の波長分散とは、波長が長くなるほど光速度が減少することを指している。

【0015】

本発明は、このような技術的課題に基づいてなされたもので、光パルスの伝送速度の高速化を実現することのできる分散補償素子、分散補償システム等を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

かかる目的のもと、本発明の分散補償素子は、外部から入射される光パルスの波長分散を補償するものであり、入射端から出射端まで光パルスを導く導波路と、この導波路において光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を可変とする分散変動手段と、を備えることを特徴とする。

このように、分散変動手段にて、光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を可変とすることで、この分散補償素子に対し入射される光パルスの波長分散に変動がある場合も、これに対応した分散補償を行うことができる。

分散変動手段としては、いかなる構成のものを採用してもよいが、例えば、以下に示すようなものが好適である。

まず、導波路は、例えばフォトニック結晶等の光学素子によって形成することができる。

フォトニック結晶は、誘電率の異なる二つの物質を交互に周期的に配列することで形成したものであり、導波路は、一方の物質中に存在する他方の物質を連続して欠落させることで形成できる。本発明では、一方の物質中に存在する他方の物質のサイズと間隔の組み合わせが異なる複数の領域を、この導波路が連続する

方向に沿って配置するのが好ましい。また、製造が可能であれば、領域ごとに、一方の物質と他方の物質の一方または双方を異ならせることも可能である。

そして、これら複数の領域ごとに、導波路の屈折率を変化させるため、電気、熱、圧力等のエネルギーを外部から独立して付与するためのエネルギー付与部材を備えることで、光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を自在に変動させる分散変動手段を構成することができる。

複数の領域では、光パルスに対する波長分散の符号を互いに異ならせ、正負の領域を備えることができる。また、複数の領域では、光パルスに対する波長分散の次数を互いに異ならせることもできる。このようにすれば、正負または複数次の波長分散に対し、分散補償することができる。また、光パルスに対する波長分散の次数毎に、波長分散の符号が互いに異なる領域を備えれば、それぞれの次数において正負の変動に対応可能となる。このような場合、分散補償素子が、 n 次までの波長分散を補償するのであれば、前記の領域は $2(n-1)$ 個設けられる。

このように設けられる複数の領域は、互いに前後する領域の境界部における光パルスの反射が最小となる配列で設けるのが好ましい。

【0017】

なお、上記のような複数の領域を備えるのであれば、フォトニック結晶の結晶素子は、一体の結晶であっても、複数の別体の結晶を組み合わせることで構成しても良い。

【0018】

本発明は、フォトニック結晶のような光学結晶単体としても捉えることができる。すなわち本発明は、誘電率の異なる二つの物質を、交互に周期的に配列することで形成された周期配列層を含み、この周期配列層は、一方の物質中に周期的に配列される他方の物質が連続して欠落した連続欠落部が形成されるとともに、連続欠落部が連続する方向において、一方の物質中における他方の物質の周期配列特性が異なる複数の領域が形成されていることを特徴とする。

ここで、周期配列特性には、一方の物質中に配列される他方の物質のサイズや間隔等がある。

このような周期配列層にて、複数の領域は、連続欠落部を光パルスが通過する

とき、光パルスに与える波長分散の絶対値または符号が互いに異なるようにするのが好ましい。

また周期配列層に、この周期配列層を形成する一方の物質とは屈折率が異なる物質で形成された他の層を積層することで、光学結晶を形成することもできる。

ところで、連続欠落部は、周期配列層に、三次元状に形成してもよいが、設計や製造の容易性を高めるには、二次元状に形成するのが好ましい。同様の理由から、連続欠落部は、周期配列層の一端側から他端側に向けて直線状に形成するのが好ましい。

【0019】

本発明は、光パルス伝送路を介して伝播する光パルスの分散補償システムとして捉えることもできる。この場合の分散補償システムは、光パルス伝送路上に設けられた光パルス取り出し部にて、光パルス伝送路を介して伝播される光パルスを取り出し、光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに対し、分散補償部にて波長分散を与えることで波長分散を補償する。このとき、制御部にて、光パルス取り出し部で取り出された光パルスに基づき、分散補償部で光パルスに与える波長分散の絶対値と符号をフィードバック制御するのである。

分散補償部は、光パルス伝送路から入射した光パルスに対して与える波長分散が互いに異なる複数の領域を備えた導波路と、導波路の領域ごとに、導波路の屈折率を変化させるエネルギーを外部から独立して付与するためのエネルギー付与部と、を備えた構成とすることができる。そして、制御部は、エネルギー付与部で付与するエネルギーの量を制御することで、分散補償部で光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を制御するのである。

また、光パルス取り出し部で取り出された光パルスの特性と、エネルギー付与部で付与するエネルギーの量とを関連付けたデータを格納するデータ格納部をさらに備えることも可能である。その場合、制御部は、光パルス取り出し部で取り出された光パルス、つまりこの光パルスをモニタリングすることで得られる補償前の光パルスの特性に基づきデータ格納部を参照し、エネルギー付与部で付与するエネルギーの量のデータを得る。そして、このエネルギーの量のデータに基づき、分散補償部で光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を制御するのである。

【0020】

また、本発明は、光パルス伝送路を介して伝播される光パルスを取り出すステップと、取り出された光パルスに基づき、光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに与える波長分散の絶対値と符号を決定するステップと、決定された波長分散の絶対値と符号に基づき、光パルス伝送路を介して伝播される光パルスに与える波長分散を変動させるステップと、を有することを特徴とする分散補償方法としても捉えることができる。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。

図1は、本実施の形態における分散補償システムを構成する分散補償素子の概略構成を説明するための図である。

この図1、図2に示すように、分散補償素子(分散補償部)10Xは、フォトニック結晶部20と、フォトニック結晶部20の一面側に設けられた電極(分散変動手段、エネルギー付与部材)30とを備えている。

フォトニック結晶部20は、基板21上に、クラッド層(他の層)22と、コア層(周期配列層)23とが積層されたもので、基板21は例えばシリコン(Si)で形成され、クラッド層22はシリコン酸化膜(SiO₂)または窒化シリコン膜、コア層23は誘電体であるシリコン結晶(Si)で形成されている。

ここで、基板21には、導電性を持たせるため、不純物が添加されている。

【0022】

また、図3に示すように、コア層23は、周期的に孔24が形成されている。これにより、コア層23は、コア層23の母材(例えばSi)と孔24の部分を満たす物質(一般には空気等の気体、他の物質を充填しても良い)により、誘電率(屈折率)の異なる2種類の物質が交互に周期的に配列されることで形成されている。

なお、図3において、孔24はコア層23だけでなく、クラッド層22にまで形成されているが、これは製造上の理由によるものであり、少なくともコア層2

3にのみ形成されていれば良い。

コア層23に形成された孔24は、所定の半径(サイズ) r を有し、正三角形を単位胞とする三角格子状に配列され、各単位胞における孔24どうしは所定の間隔(正三角形の一辺の長さ) a を隔てている。

そして、このコア層23は、上記した孔24の半径 r と、間隔 a とが異なって設定された、領域(I)、(II)を備えている。

このようなコア層23には、領域(I)、(II)を貫通する方向において直線状に連続するよう、孔24が欠損する(孔24を形成しない)ことで、いわゆる欠陥導波路(導波路、連続欠落部)25が形成されている。

【0023】

このような構成のフォトニック結晶部20では、コア層23の上下面にて、屈折率が異なる他の物質(下面側にクラッド層22、上面側は空気)が存在することで、欠陥導波路25の一端側の入射端から入射した光はコア層23の上下面で反射しながら伝播し、欠陥導波路25の他端側の出射端から出射する。このとき、光が欠陥導波路25を伝播する間、コア層23の領域(I)を伝播する間に、この領域(I)の孔24の半径 r と間隔 a に応じた波長分散を受け、続いて領域(II)を伝播する間に、この領域(II)の孔24の半径 r と間隔 a に応じた波長分散を受ける。つまり、このコア層23の欠陥導波路25から出射した光は、領域(I)と(II)を合成した波長分散を受けるのである。

【0024】

さて、図1および図2に示したように、フォトニック結晶部20の一面側、具体的には基板21ではなくコア層23に対向する側には、電極30が設けられている。この電極30は、コア層23の屈折率を変化させるエネルギーを外部から付与するためのものである。本実施の形態では、電極30として、前記の領域(I)と(II)に対応して独立して電極30A、30Bが設けられている。

【0025】

そして、電極30A、30Bには、外部に、電源(図示無し)と、電源での電圧印加量をコントロールするコントローラ(図示無し)とが接続されるようになっており、これにより、分散変動手段が構成される。

電極 30A、30B と、導電性を有した基板 21 との間に電圧(バイアス電圧)を印加すると、印加された電圧に応じてコア層 23 の領域(I)と(I I)の屈折率が変化する。これを利用し、コントローラで、領域(I)の電極 30A と領域(I I)の電極 30B とに電源から印加する電圧を個別に制御することで、領域(I)、(I I)で与える波長分散を独立して変動させ、これにより最適な分散補償を行うのである。

【0026】

ここで、上記したような分散補償素子 10X の、好ましい例を具体的に示す。

前述したように、フォトニック結晶部 20 の基板 21 は、導電性を有するために不純物を含有したシリコン(Si)で形成し、クラッド層 22 はシリコン酸化膜(SiO₂)または窒化シリコン、コア層 23 は誘電体であるシリコン結晶(Si)で形成した。そして、クラッド層 22 とコア層 23 の厚みは、各々 1000nm および 220nm とした。このクラッド層 22 とコア層 23 の厚みは、欠陥導波路 25 の横モードが単一となる条件(横電界(transverse electric, TE)偏光に対して 23nm 以上かつ 240nm 以下)にある。

空気、コア層 23、クラッド層 22 の屈折率を、各々 n_{air} 、 n_{core} 、 n_{clad} と表すると、 $n_{air}=1.00$ 、 $n_{core}=3.50$ 、 $n_{clad}=1.45$ とした。

【0027】

このようなフォトニック結晶部 20 は、コア層 23 を形成する材料の上にレジストを塗布し、フォトリソグラフィ等の手法により所定の孔 24 のパターンをレジスト上に形成する。そして、ドライエッチングによりコア層 23 を形成する材料上に欠陥導波路 25 を形成するための孔 24 のパターンを形成する。ここで、孔 24 の部分は、空気とした。

孔 24 の配列は、正三角形を単位胞とする三角格子とし、領域(I)および(I I)で周期を異ならせた。領域(I)では $a=493\text{nm}$ とし、領域(I I)では $a=473\text{nm}$ とした。各々の領域とも、 $r/a=0.4$ となるように半径 r を設定した。また、領域(I)および(I I)の境界で隣接する孔 24 間の間隔 d (図 1 参照)は、三角格子の周期の大きいほうの値、すなわち 473nm より短くする。光が伝搬する欠陥導波路 25 は、線分 P_1-P_2 を中心としてそれに沿って構成された直線状とし、この

欠陥導波路 25 は領域 (I) の孔 24 が一つ分埋められた (欠陥した) ことにより形成される。領域 (II) の欠陥導波路 25 の幅は領域 (I) と等しく取られている。領域 (I)、(II) それぞれにおける欠陥導波路 25 の長さは $100\mu\text{m}$ 、分散補償素子 10X での欠陥導波路 25 のトータル長さは $200\mu\text{m}$ とした。

【0028】

さて、図 4 に示すものは分散補償素子 10X における分散補償の原理を説明するための図である。

フォトリック結晶部 20 の領域 (I) および (II) は、各々図 4 に示した光波伝搬を特徴付けるバンド特性を有する。欠陥導波路 25 中では、曲率の符号が異なる分枝 1 および 2 の導波モードがフォトリックギャップ中に形成される。

図 4 のグラフの縦軸および横軸は、 $1/a$ で規格化した光の周波数および波数である。導波モードは横電界 (transverse electric, TE) 偏光状態にある。欠陥導波路 25 中では、光は分枝 1 もしくは分枝 2 のモードとなって伝搬する。

入射する光パルスの中心周波数が特定の周波数であるときに、欠陥導波路 25 の領域 (I) では上側の分枝 2 のモードが発生し、領域 (II) では下側の分枝 1 のモードが発生するよう、領域 (I)、(II) の孔 24 の半径 r と間隔 a を互いに異ならせて設定するのである。

【0029】

ところで図 5 (a) に示すように、導波モードは分枝 1 および 2 が波数ゼロで最近接する場合と、図 5 (b) に示すように、ブリルアンゾーン境界で最近接する場合とがあり、どちらの場合も適用可能であるが、本実施の形態では、図 5 (a) の特性を有するフォトリック結晶を対象とする。

【0030】

光が物質中を伝搬する際の様子を調べる際に、周波数-波数の関係が重要となる。この関係より、光が物質中を伝搬する際の速度が求まる。この速度は光パルスの重心が移動するスピードを指し、群速度と呼ばれる。群速度は、周波数-波数特性曲線の傾き (微分係数) として与えられる。真空や空気中では、周波数-波数特性は直線となり、群速度は周波数によらず一定であるが、ガラス・半導体・金属などの物質中では周波数-波数特性は直線にならず、群速度は周波数に応じ

て変化する。したがって、空气中から入射した光が物質を透過する場合、空气中から入射する光の周波数(波長と言い換えてよい)に応じて群速度は変化する。光パルスは単一の波長だけでなく、さまざまな波長成分を含んでいるので、群速度が波長に依存すると物質中を伝搬するにつれて光パルスの幅が広がり、波形が歪んでしまう。群速度が波長(または周波数)に依存するとき、その依存性を波長分散と呼ぶ。また、群速度が波長(または周波数)に応じて変化する割合を群速度分散と呼ぶ。群速度分散は、周波数-波数特性曲線の二階微分に等しい。

【0031】

図4に示した周波数-波数関係を表す曲線において、分枝1および2では群速度分散の符号が互いに反転している。したがって、領域(I)および(II)に加えるバイアス電圧を調整することによって曲線を変動させ、これによって、領域(I)および(II)を含めた欠陥導波路25全体として、正、ゼロもしくは負の群速度分散を発生することが可能となっている。そして、ある光ファイバ伝送路を対象とするとき、その光ファイバ伝送路のもつ群速度分散と符号が逆で、絶対値が等しい量の群速度分散を発生するようにバイアス電圧(I)および(II)を変化させることによって、対象とする光ファイバ伝送路の波長分散を除去するのである。

【0032】

図6は、図1に示した分散補償素子10Xが正負の分散補償を実現するためのものであるのに対し、複数次の項に対する分散補償を実現するためのものである。

ここで、分散補償素子(分散補償部)10Yは、基本的に図1に示した分散補償素子10Xと同様であるため、共通する構成については同符号を付してその説明を省略するが、フォトニック結晶部20は、基板21上に、クラッド層22と、コア層23とが積層されたものである。

このフォトニック結晶部20のコア層23に、周期的に形成された孔24の半径 r と間隔 a とが、領域ごとに異なるように設定されているのである。

【0033】

複数次の分散補償に対応する分散補償素子10Yは、 n 次までの項の分散補償

を実現するのであれば、 $2(n-1)$ 個の領域を有している。

図6に示すように、例えば3次までの項の分散補償を行うのであれば、 $n=3$ であり、領域は $2(n-1)=2(3-1)=4$ 個が設定される。これら4個の領域(I)、(II)、(III)、(IV)において、2次の項の正負、3次の項の正負、計4通りの波長分散を与えるよう、それぞれ孔24の半径 r と間隔 a が設定されている。

【0034】

図7は、このような3次までの項の分散補償を行う場合を説明するためのものである。

この図7に示すように、領域(IV)が2次の項の正、領域(I)が2次の項の負、領域(III)が3次の項の正、領域(II)が3次の項の負の波長分散を与える場合、

領域(IV)では、 $k = -c_2 \nu^2$ 、

領域(I)では、 $k = c'_2 \nu^2$ 、

領域(III)では、 $k = -c''_2 \nu^2 - c_3 \nu^3$ 、

領域(II)では、 $k = c'''_2 \nu^2 + c'_3 \nu^3$ 、

の式で表される曲線となる。ただし、各式は中心周波数付近の周波数—波数特性曲線を ν のべき乗で近似して表している。

ここで、 k :波数、 c :正の数、 ν :中心周波数を原点として表した周波数である。

【0035】

そして、領域(I)～(IV)をトータルした、

$$k = (c'_2 - c_2 + c'''_2 - c''_2) \nu^2 + (c'_3 - c_3) \nu^3$$

の式において、2次の項の係数: $(c'_2 - c_2 + c'''_2 - c''_2)$ が分散補償素子10Yにおける2次の分散補償値を与え、3次の項の係数: $(c'_3 - c_3)$ が分散補償素子10Yにおける3次の分散補償値を与える。

【0036】

ところで、上記のような分散補償素子10Yでは、例えば4つの領域(I)～(IV)を備える構成となっているが、このように3以上の領域を備える場合、図

6(b)に示すように、互いに隣接する領域間の境界部で、屈折率の違いから生じる反射による光減衰が最小となるような配列とするのが好ましい。具体的には、間隔 a の大小の順で領域(I)～(IV)を配列するのが望ましい。

【0037】

さて、図8は、上記したような分散補償素子10Xあるいは10Yを用いて構成する分散補償システム50の構成を示すものである。

分散補償システム50は、光ファイバ伝送路100上に備えられる。

光ファイバ伝送路100は、例えば海底等に長距離にわたって敷設されるもので、送信サーバ等の入射部101側から入射された光パルス列が、光ファイバ伝送路100を介して伝送され、受信サーバ等の出射部102側から出射されるようになっている。

分散補償システム50は、出射部102の近傍に備えられるもので、カプラ(パルス取り出し部)51と、モニター装置52と、制御装置(制御部)53と、分散補償素子10Xあるいは10Y(以下、単に10Xと略称する)と、を備える。

【0038】

カプラ51は、光ファイバ伝送路100から光パルスを取り出すものである。

モニター装置52は、カプラ51で取り出した光パルスを、波長分散の影響が無視できるなるべく短尺の光ファイバ54を介して受け取り、その光パルスの波形をモニターする。具体的には、光ファイバ伝送路100から取り出した光パルスの時間-スペクトル面上での波形をモニター(測定)し、波形制御の対象となる光パルスの持つ波長分散を次数毎の係数に分解して求め、これを波長分散情報として出力する。なお、このモニター装置52については、例えば非特許文献5に記載された構成を適用できるので、ここでは特に詳細な説明を行わない。

【0039】

【非特許文献5】

K Ogawa, "Real-time intuitive spectrogram measurement of ultrashort optical pulses using two-photon absorption in a semiconductor"、
[online]、平成14年(2002年)年3月11日、Optical Society of America, Vol. 10, No. 5, p. 262-267、[平成15年(2003年)1月14

日検索]、インターネット<URL:http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=OPEX-10-5-262>

【 0 0 4 0 】

制御装置 5 3 は、モニター装置 5 2 から出力された波長分散情報を、短尺の光ファイバ 5 5 を介して受け取る。この制御装置 5 3 は、データベース(データ格納部) 5 6 を備えており、このデータベース 5 6 には、波長分散の符号と絶対値に応じた、分散補償素子 1 0 X の電極 3 0 A、3 0 B での電圧印加量のデータが格納されている。

制御装置 5 3 では、モニター装置 5 2 から出力された波長分散情報を受け取ると、データベース 5 6 を参照することで、モニター装置 5 2 から受け取った波長分散情報(波長分散の係数)とは絶対値が等しく符号が反転した波長分散を分散補償素子 1 0 X が発生するための、電極 3 0 A、3 0 B での電圧印加量のデータを得る。そして、得られた電圧印加量のデータを、分散補償素子 1 0 X に向けて出力する。

【 0 0 4 1 】

ところで、分散補償素子 1 0 X は、その欠陥導波路 2 5 が、光ファイバ伝送路 1 0 0 上に介在し、光ファイバ伝送路 1 0 0 を伝播してきた光パルスが欠陥導波路 2 5 の一端側の入射端から入射し、他端側の出射端から光ファイバ伝送路 1 0 0 に出射するように設けられている。

そして、分散補償素子 1 0 X の電極 3 0 A、3 0 B に電圧を印加するための電源(図示無し)と、電源での電圧印加量をコントロールするコントローラ(図示無し)とが、分散補償素子 1 0 X に接続されている。

前記の、制御装置 5 3 から出力された電圧印加量のデータは、光ファイバ 5 7 を介し、分散補償素子 1 0 X のコントローラ(図示無し)に転送される。コントローラでは、受け取った電圧印加量のデータに基づき、電極 3 0 A、3 0 B に電源から所定の電圧を印加させることで、領域(I)、(I I)それぞれの屈折率を変化させる。

【 0 0 4 2 】

このようにして、分散補償システム 5 0 では、光ファイバ伝送路 1 0 0 から取

り出した光パルスモニター装置 52 でモニタリングし、その波長分散情報に基づき、分散補償素子 10X で印加する電圧印加量を制御装置 53 にてコントロールする構成とした。これにより、光ファイバ伝送路 100 において、温度、気象等による条件変動が生じて、常に最適な分散補償を行うことができる。

そして、分散補償素子 10X では、波長分散補償の符号を波長分散の絶対値と独立に可変とすることで、正負の分散補償が行える構成となっているので、光ファイバ伝送路 100 における波長分散が、正負の間を絶え間なく変化する場合であっても、分散補償を行うことができる。

なお、上記の議論は分散補償素子 10X だけでなく分散補償素子 10Y を用いた場合にも同様に適用されるものであり、分散補償素子 10Y を採用すれば、正負だけでなく、複数次の分散補償を行える。

【0043】

その結果、分散補償素子 10X、10Y、およびそれを用いた分散補償システム 50 を用いることで、広いスペクトル帯域を利用する超高速大容量光通信に対応する波長分散補償を実現することができ、伝送速度のさらなる高速化を十分に実現することが可能となる。

【0044】

特に、分散補償素子 10X、10Y は、領域毎に孔 24 の半径 r と間隔 a を異ならせるのみであるため、特に複雑な構造となることもなく、比較的低コストで上記効果を実現することが可能である。

また、制御装置 53 でも、予めデータベース 56 に格納された情報を参照することで、電極 30A、30B で印加する電圧量を制御する構成となっており、その場で複雑な処理等を行う必要がないため、制御装置 53 自体も低コストで製作することができる。

【0045】

なお、上記実施の形態では、分散補償素子 10X、10Y において電極 30 を用いてバイアス電圧をかけることでフォトニック結晶部 20 の屈折率を変化させる構成としたが、これ以外の手段を分散補償手段として用いることも可能である。

例えば、各領域にヒータを設け、ヒータに電流を流してコア層 23 の温度を上昇させるのである。屈折率の温度依存性により、フォトニック結晶導波路の波長分散を変化させて波長分散補償に利用することができる。

また、コア層 23 にキャリア(電子・正孔)を注入して吸収スペクトル(屈折率の虚部)を変化させることもできる。

さらに、圧電素子によりストレスをフォトニック結晶部 20 の両面から印加することでひずみを加え、屈折率を変化させることもできる。

【0046】

また、フォトニック結晶部 20 は、図 9(a)に示すように、基板 21 上にクラッド層 22、コア層 23 のみを備え、コア層 23 の一面側には空気が接する構成としたが、これに代えて、図 9(b)に示すように、コア層 23 の上面側にさらにクラッド層(他の層) 26 を設けるようにしても良い。この場合、クラッド層 26 には、クラッド層 22 と同様、 SiO_2 を用いることができる。好ましい態様としてのクラッド層 22 の厚さは 500nm である。その他の部分の厚さ等は前記したのと同様である。

【0047】

また、コア層 23 には、直線状の欠陥導波路 25 を形成する構成としたが、直線状に限るものではなく、折曲あるいは湾曲した形状とすることもできる。さらに、上記実施の形態では、欠陥導波路 25 は二次元状に形成された構成となっているが、これを三次元状に形成する構成とすることも可能である。

この他、上記と同様の光に対する分散機能を有するのであれば、フォトニック結晶以外の光学素材、光学素子を用いることに何ら問題はない。

【0048】

加えて、分散補償システム 50 では、モニター装置 52、制御装置 53 で光パルスをモニタリングして分散補償を制御する構成としたが、光ファイバ伝送路 100 における光パルス伝播条件がさほど変動しないような使用環境であれば、カップラ 51、モニター装置 52、制御装置 53 を省略し、常に一定の分散補償を行う構成とすることも可能である。

なお、入射部 101、出射部 102 で用いられるサーバや各種端末等は、光フ

ファイバ伝送路 100 に対し信号の送出と受信の双方を行うのが通常である。上記分散補償システム 50 は、信号の受信の直前で分散補償を行うのが好ましいため、実際には、光ファイバ伝送路 100 の両端部に分散補償システム 50 を備えるのが好ましい。

加えて、分散補償システム 50 は、モニター装置 52、制御装置 53、分散補償素子 10X や 10Y を一体の装置としても良いし、それぞれを別体のユニットとしても良い。

これ以外にも、本発明の主旨を逸脱しない限り、上記実施の形態で挙げた構成を取捨選択したり、他の構成に適宜変更することが可能である。

【0049】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、複数の領域を設けることで、例えば、正負の分散補償や、複数次の分散補償を行うことができる。また、各領域における波長分散を変動させることで、波長分散補償の絶対値と符号を可変することが可能となる。

そして、光ファイバ伝送路から取り出した光パルスをモニタリングし、その波長分散情報に基づき、各領域で与える波長分散を制御することで、光ファイバ伝送路において、温度、気象等による条件変動が生じて、常に最適な分散補償を行うことができる。

その結果、広いスペクトル帯域を利用する超高速大容量光通信に対応する波長分散補償を実現することができ、伝送速度のさらなる高速化を十分に実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本実施の形態における分散補償素子の構成を示す斜視図である。

【図 2】 分散補償素子の断面図および平面図である。

【図 3】 コア層の斜視図である。

【図 4】 周波数－波数特性曲線であり、(I)、(II)の領域における導波モードの違いを示す図である。

【図 5】 導波モードの分枝が波数ゼロで最近接する場合と、ブリルアンゾ

ーン境界で最近接する場合を示す図である。

【図 6】 複数次の分散補償を行う場合の分散補償素子の構成を示す図であり、(a)はコア層の平面図、(b)は各領域における導波モードの違いを示す図である。

【図 7】 複数次の分散補償を行う場合の補償原理を示す図である。

【図 8】 分散補償システムの概略構成を示す図である。

【図 9】 分散補償素子の他の一例を示す図である。

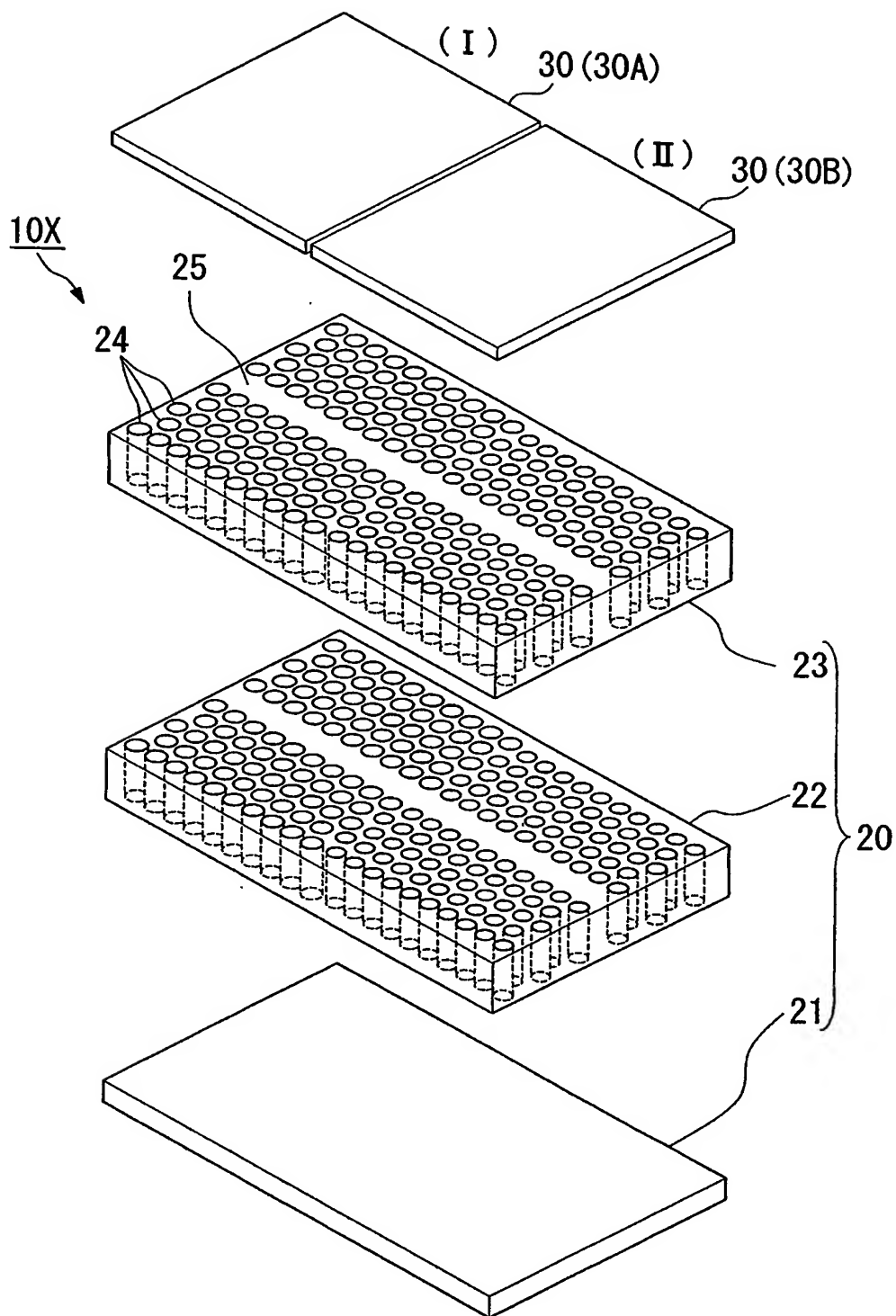
【符号の説明】

10X、10Y…分散補償素子(分散補償部)、20…フォトリソグラフィ部、21…基板、22、26…クラッド層(他の層)、23…コア層(周期配列層)、24…孔、25…欠陥導波路(導波路、連続欠陥部)、30、30A、30B…電極(分散変動手段、エネルギー付与部材)、50…分散補償システム、51…カプラ(パルス取り出し部)、52…モニター装置、53…制御装置(制御部)、56…データベース(データ格納部)、100…光ファイバ伝送路、a…間隔、r…半径(サイズ)

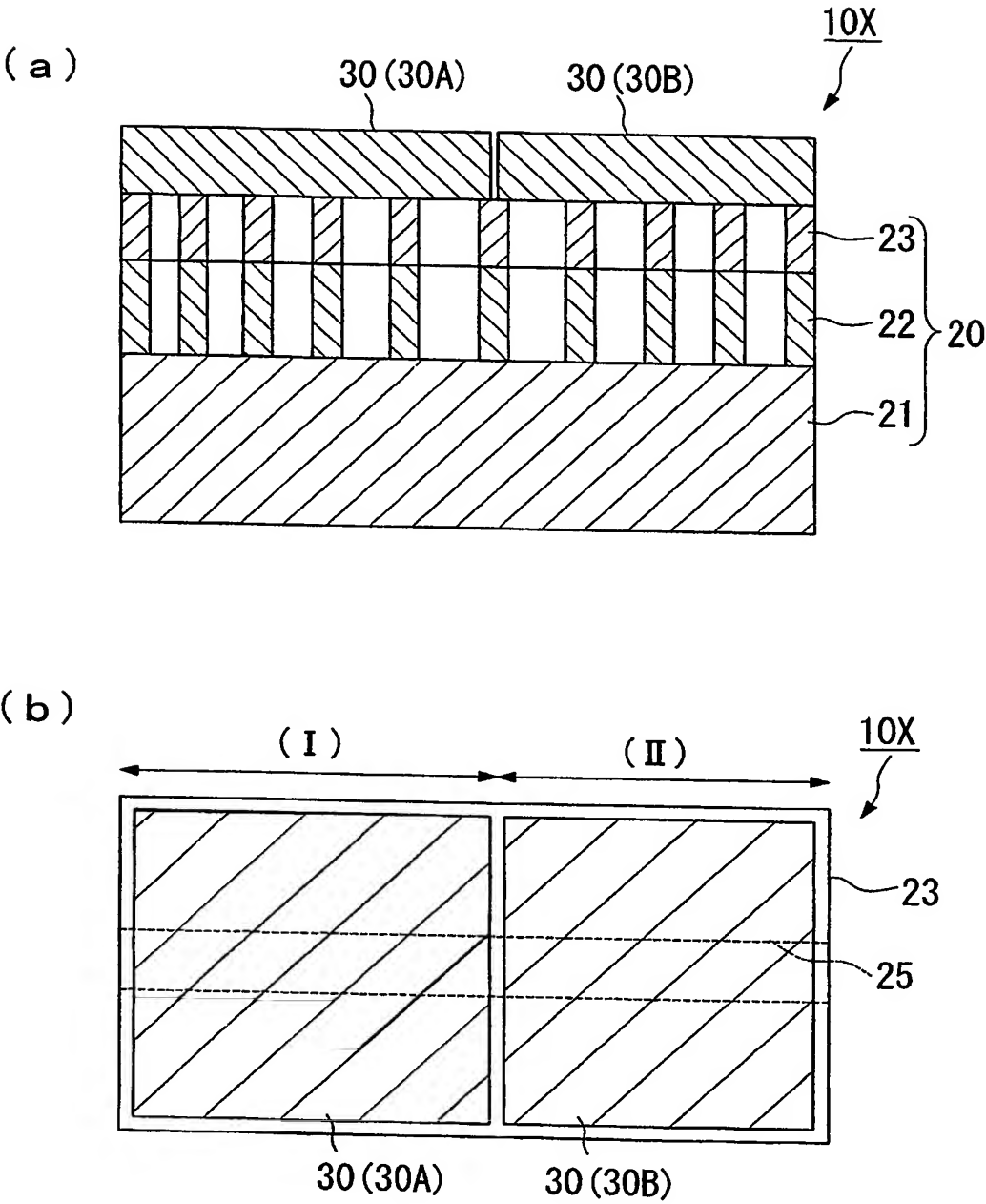
【書類名】

図面

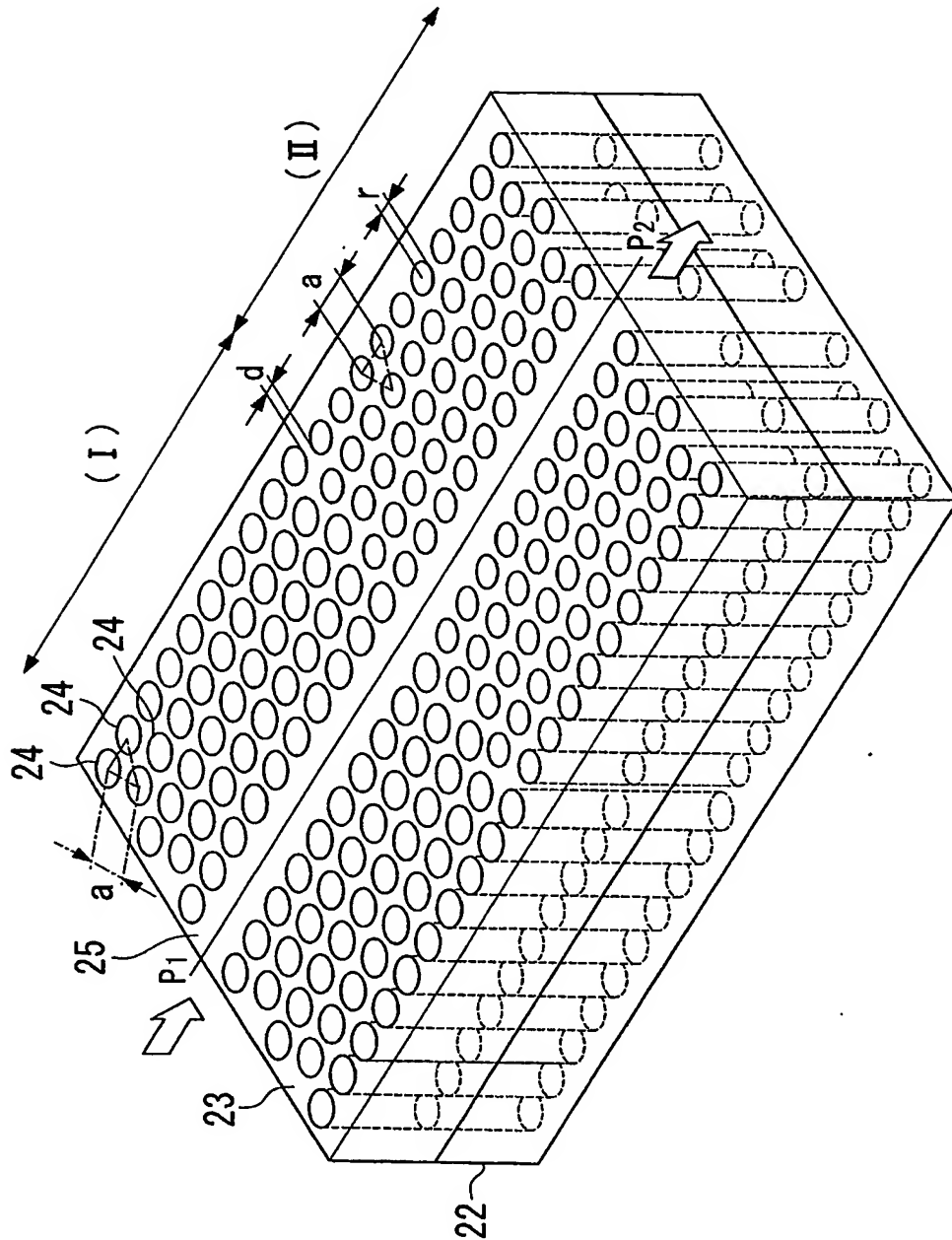
【図 1】



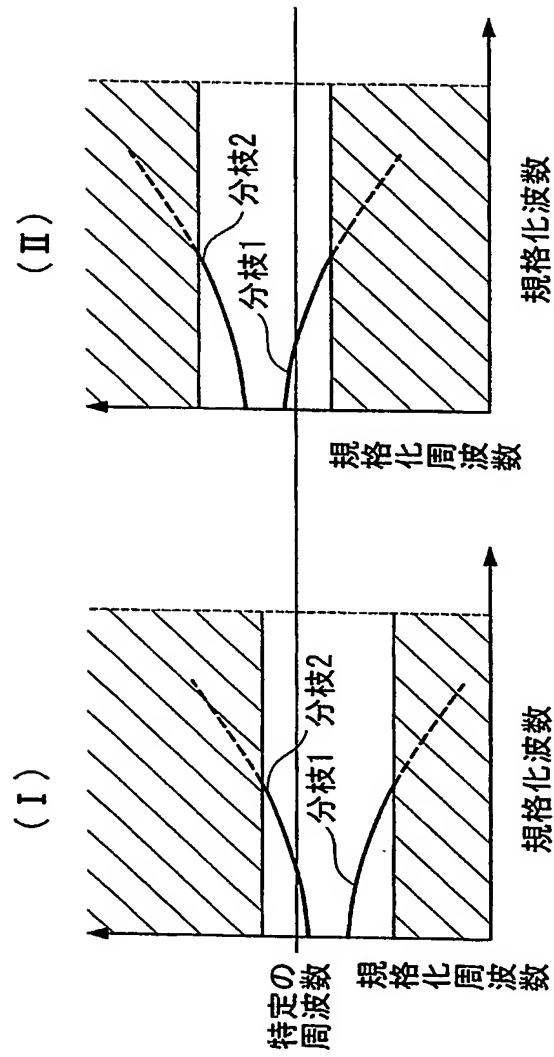
【図 2】



【図 3】

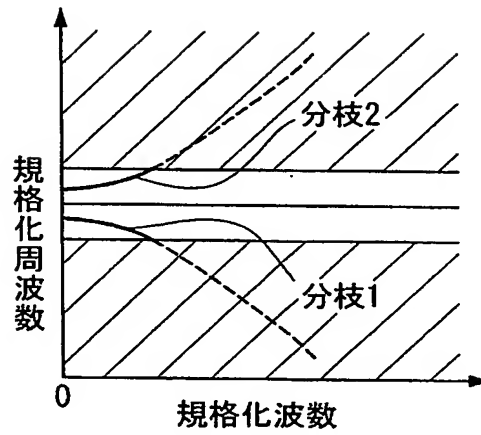


【図 4】

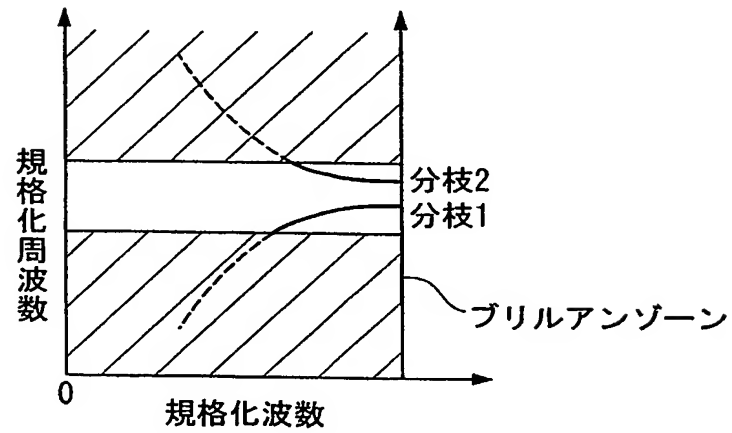


【図 5】

(a)

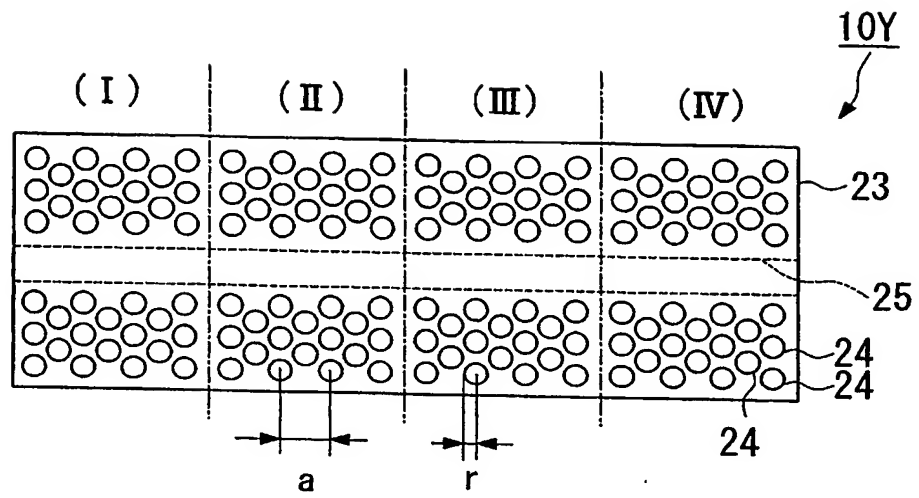


(b)

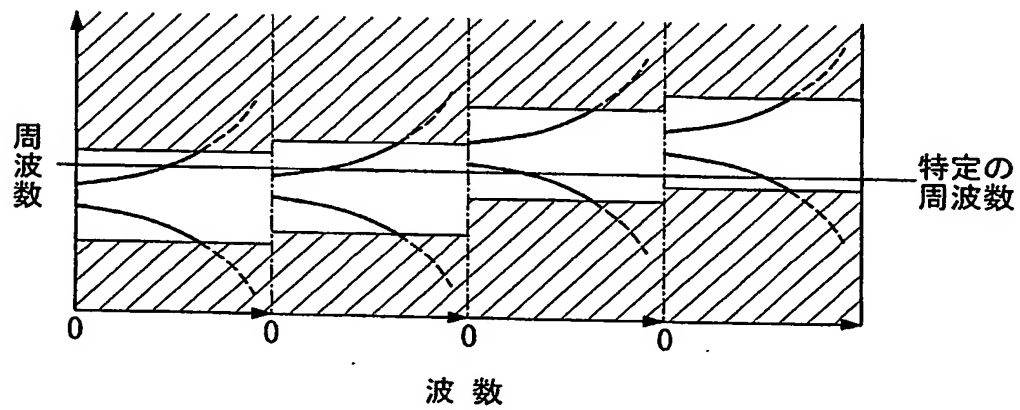


【図 6】

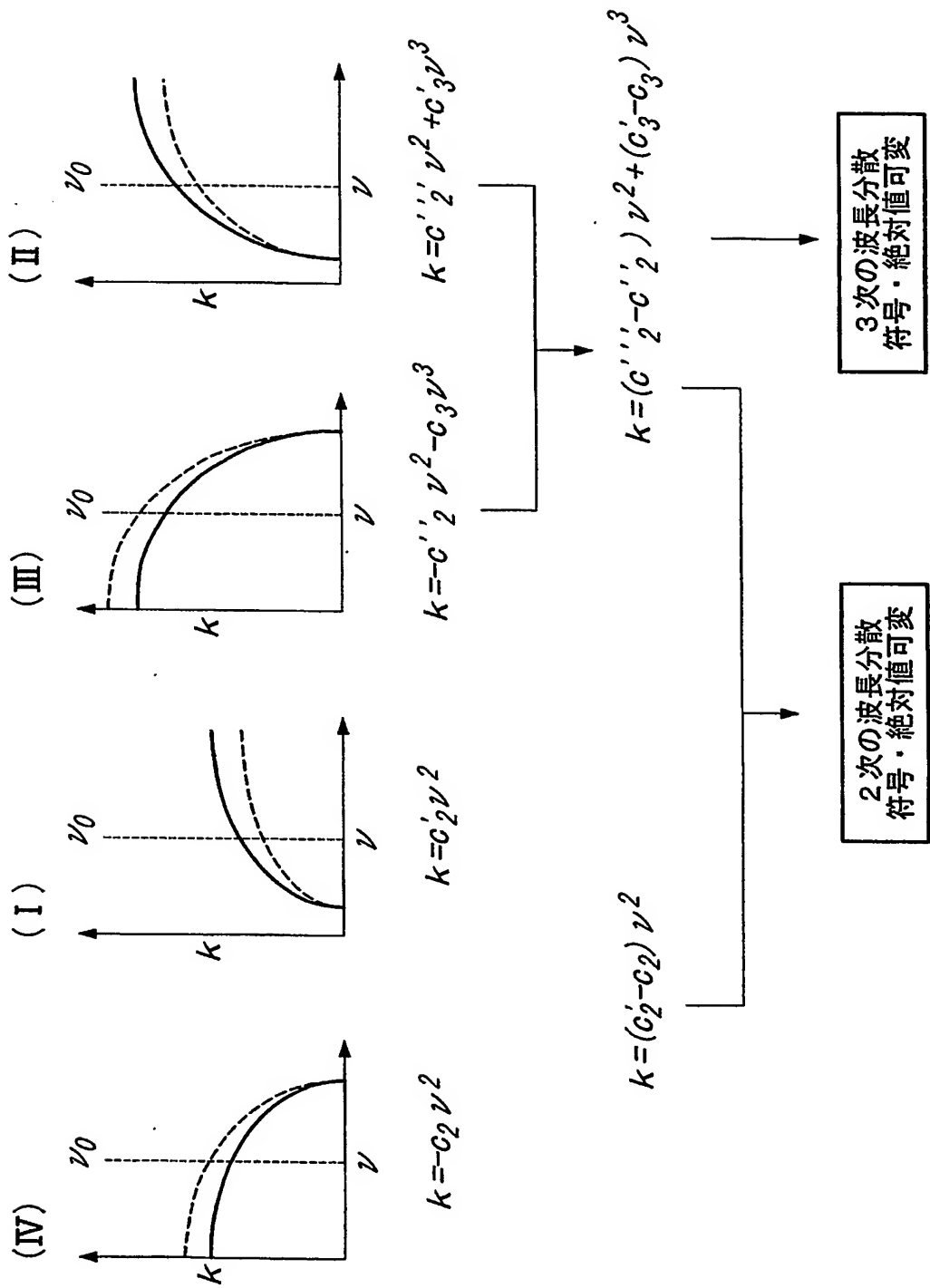
(a)



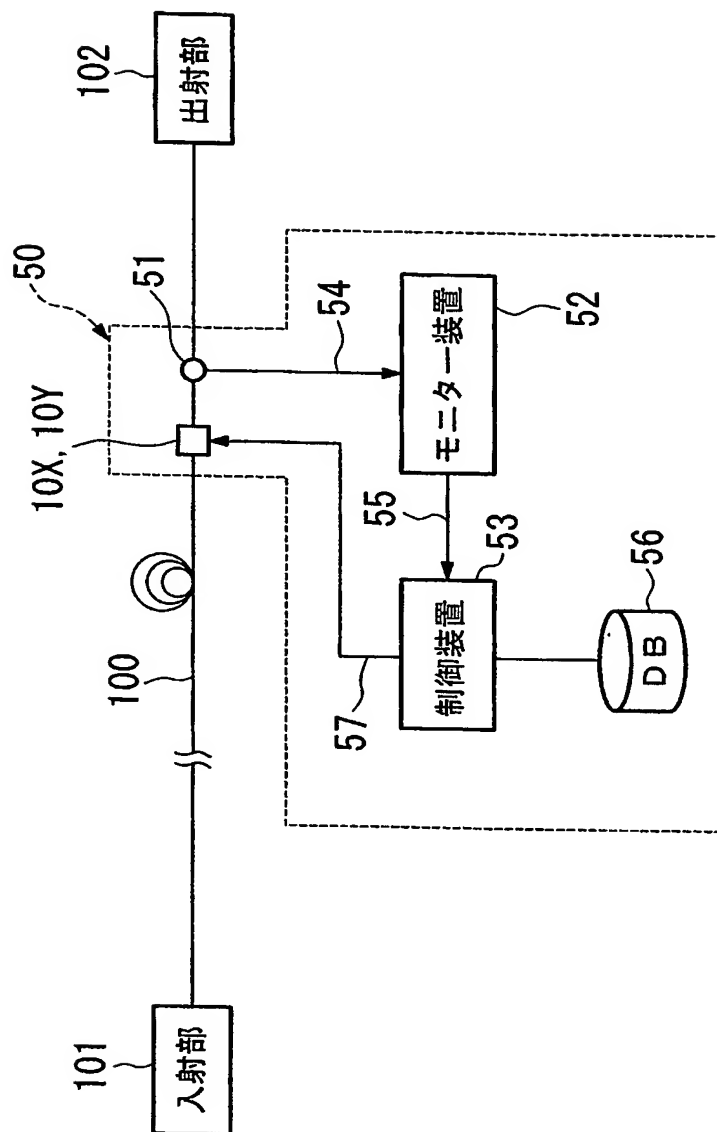
(b)



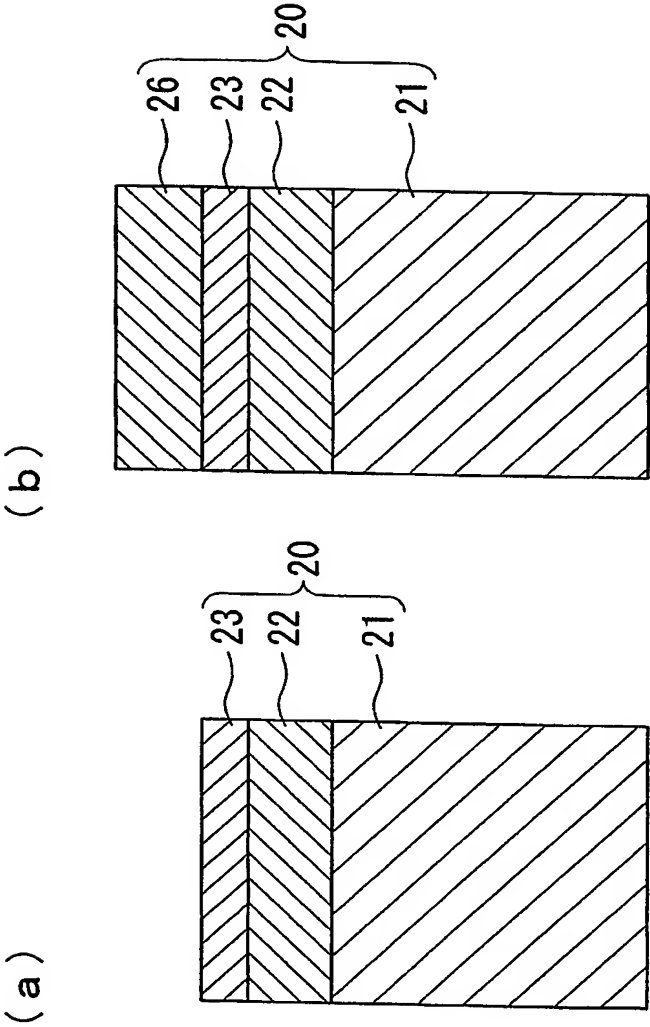
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光パルスの伝送速度の高速化を実現することのできる分散補償素子、分散補償システム等を提供することを目的とする。

【解決手段】 分散補償素子 10 Xでは、孔 24 の半径と間隔が互いに異なる複数の領域(I)、(I I)を設定し、領域(I)、(I I)のそれぞれにおいて、電極 30 A、30 Bで印加する電圧を制御することで、波長分散補償の符号と絶対値を可変できるようにした。このような分散補償素子 10 Xを用いて構成する分散補償システムでは、光ファイバ伝送路から取り出した光パルスをモニタリングし、その波長分散情報に基づき、分散補償素子 10 Xで印加する電圧印加量をコントロールすることで、光ファイバ伝送路を伝播される光パルスの分散補償を行うようにした。

【選択図】 図 1

【書類名】 出願人名義変更届

【提出日】 平成15年 3月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【事件の表示】

【出願番号】 特願2003- 7485

【承継人】

【識別番号】 503067834

【氏名又は名称】 株式会社デバイス・ナノテク・リサーチ・インスティテュート

【譲渡人】

【識別番号】 502449716

【氏名又は名称】 株式会社アイ・エヌ・アール・アイ

【承継人代理人】

【識別番号】 100100077

【弁理士】

【氏名又は名称】 大場 充

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 085823

【納付金額】 4,200円

【提出物件の目録】

【物件名】 承継人であることを証する書面 1

【提出物件の特記事項】 追って補充する

【包括委任状番号】 0303690

【プルーフの要否】 要

特願 2003-007485

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[502449716]

1. 変更年月日

2002年12月12日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都中央区日本橋浜町3丁目42番3号

氏 名

株式会社アイ・エヌ・アール・アイ

特願 2 0 0 3 - 0 0 7 4 8 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[5 0 3 0 6 7 8 3 4]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 2 月 1 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区大手町一丁目 2 番 1 号

氏 名

株式会社デバイス・ナノテク・リサーチ・インスティテュート